

Symbol value sequence evaluation method for CDMA receiver

Patent Number: DE19638404
Publication date: 1998-02-19
Inventor(s): RADEMACHER LEO DR ING (DE)
Applicant(s):: SIEMENS AG (DE)
Requested Patent: ☐ DE19638404
Application Number: DE19961038404 19960919
Priority Number(s): DE19961038404 19960919
IPC Classification: H04J13/02 ; H04L27/26 ; H04B7/216
EC Classification: H04B1/707
Equivalents:

Abstract

The evaluation method determines the sequence of symbol values contained in a received signal by estimating a sequence of channel estimation values for the transmission channels of at least 2 subscribers. The received signal is also used to provide a reception vector, having 2 components, for each transmitted symbol. The reception vector and the channel estimation value sequences are used to provide the condition transitions of the symbol value sequence via a Viterbi algorithm. A calculation of at least one metric increment, via at least one error value, indicates the difference between the reception vector and a required reception vector provided by the channel estimation value sequences for both subscribers.

Data supplied from the **esp@cenet** database - I2

BEST AVAILABLE COPY

THIS PAGE BLANK (USPTO)



DEUTSCHES
PATENTAMT

21 Aktenzeichen: 196 38 404.4-51
22 Anmeldetag: 19. 9. 96
43 Offenlegungstag: —
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 19. 2. 98

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:
Siemens AG, 80333 München, DE

72 Erfinder:
Rademacher, Leo, Dr.-Ing., 83807 Holzkirchen, DE

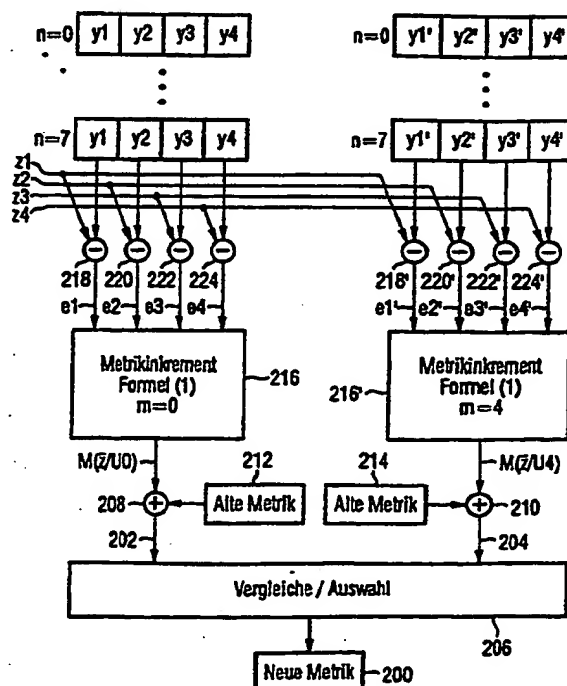
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 43 29 320 A1
DE 43 16 939 A1

G.D. Forney, Jr.: The Viterbi Algorithm, Proceedings
of the IEEE, Vol. 61, No. 3, März 1973, S. 268-278;
W. Van Elten: Maximum Likelihood Receiver for
Multiple Channel Transmission Systems, IEEE
Transactions on Communications, Februar 1976,
S. 276-283;

54 Verfahren und Empfänger zum Ermitteln von mit dem CDMA-Verfahren codierten Symbolwertfolgen mit
Hilfe individueller Viterbi-Algorithmen

57 Beschrieben wird ein Verfahren zum Ermitteln einer in einem Empfangssignal enthaltenen Folge von Symbolwerten, wobei die Symbolwerte nach dem CDMA-Verfahren mit einem ersten Schlüssel für einen ersten Teilnehmer von mindestens zwei Teilnehmern des CDMA-Verfahrens verschlüsselt sind. Aus dem Empfangssignal wird mindestens der Übertragungskanal des ersten Teilnehmers abgeschätzt, wobei für jeden abgeschätzten Übertragungskanal eine Folge von Kanalschätzwerten erzeugt wird. Aus dem Empfangssignal wird für jedes gesendete Symbol ein Empfangswertvektor ermittelt, der mindestens zwei Komponenten (z_1 bis z_4) enthält. Aus dem Empfangswertvektor und der Kanalschätzwertfolge wird unter Verwendung des Viterbi-Algorithmus unter Berücksichtigung von Metrikinkrementen ($M(\bar{z}|U_0)$, $M(\bar{z}|U_4)$) für Zustands-Übergänge (U_0 , U_4) die Symbolwertfolge ermittelt, wobei beim Berechnen des Fehlerwerts (e) für den ersten Teilnehmer eine Folge derjenigen Symbolwerte (U_0 , U_4) verwendet wird, die den zum Metrikinkrement ($M(\bar{z}|U_0)$, $M(\bar{z}|U_4)$) gehörenden Übergang (U_0 , U_7) eindeutig definiert.



Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln einer von mindestens zwei nach dem CDMA-Verfahren codierten Symbolwertfolgen.

5 Beim bekannten CDMA-Verfahren, siehe bspw. das CDMA-Übertragungssystem nach DE 43 16 939 A1, bei dem zusätzlich für eine Datenschätzung Verbund-Wahrscheinlichkeitsverteilungen berücksichtigt werden können mehrere Teilnehmer desselben CDMA-Verfahrens gleichzeitig in einem einzigen Übertragungskanal Informationen übertragen. Die Informationen werden in Symbolen mit bestimmten Symbolwerten hinterlegt. Im Falle zweier Symbolwerte handelt es sich um binäre Symbole. Möglich sind aber auch mehr als zwei Symbolwerte. 10 Jedem Teilnehmer wird ein Code-Schlüssel zugeordnet, mit dem die zu sendenden Symbolwerte verschlüsselt werden. An einem Empfänger überlagern sich dann die von den verschiedenen Teilnehmern gleichzeitig gesendeten Signale zu einem Empfangssignal. Im Empfänger können aus dem Empfangssignal mit Hilfe der auch im Empfänger bekannten Code-Schlüssel die Symbolwerte für die einzelnen Teilnehmer wieder dekodiert werden. Dazu wird z. B. für einen ersten Teilnehmer das bereits vorverarbeitete Empfangssignal mit dem Code-Schlüssel des ersten Teilnehmers kreuzkorreliert.

15 Das CDMA-Verfahren wird auch in Mobilfunknetzen eingesetzt, in denen jedoch eine Vielzahl von Störungen bei der Übertragung von Signalen zwischen einer Mobilstation und einer Basisstation auftreten. Diese Störungen sind zum Beispiel darauf zurückzuführen, daß sich die Mobilstation mit einer Geschwindigkeit von z. B. 300 km/h bewegt. Außerdem treten Mehrfachreflexionen des gesendeten Signals, Gleichkanalstörungen und Rauschen auf. Die Folge ist, daß in der Basisstation und der Mobilstation stark verzerrte und gestörte Signale empfangen werden. Um aus den stark gestörten Empfangssignalen die gesendete Information zu gewinnen, wird seit langem der Viterbi-Algorithmus eingesetzt. Dieser Algorithmus wurde zum Beispiel von G.D. Forney, Jr., in den "Proceedings of the IEEE", Band 61, Nummer 3, März 1973, Seite 268 bis 278, erläutert. Die Grundidee des Viterbi-Algorithmus besteht darin, daß im Empfänger das Übertragungsverhalten des Kanals zwischen Sender und Empfänger nachgebildet wird, wozu eine Kanal-Impulsantwort $[H] = [h_1, \dots, h_K]$ ermittelt wird. Dabei gibt 25 K die Anzahl der Abtastwerte beim Ermitteln der Impulsantwort $[H]$ an. Eine geschweifte Klammer bedeutet im folgenden, daß es sich um eine Folge von Werten handelt; eckige Klammern geben die konkreten Werte der Folge an. Da der konkrete Wert für K meist kleiner ist, als die Anzahl von Symbolen, die durch einen Teilnehmer in einer Sequenz (sogenannter Burst), gesendet werden, wird beim Viterbi-Algorithmus die Symbolfolge in mehreren Schritten sk abschnittsweise beginnend mit den ersten gesendeten Symbolen betrachtet. Da im Empfänger die tatsächlich gesendete Symbolfolge nicht bekannt ist, werden alle in Frage kommenden Symbolfolgen oder zumindest ein Teil der in Frage kommenden Symbolfolgen im Empfänger generiert. Aus den in Frage kommenden Symbolfolgen werden dann durch Faltung mit der Impulsantwort $[H]$ Empfangsfolgen generiert, die anschließend mit der tatsächlich empfangenen Empfangsfolge verglichen werden. Von den in 35 Frage kommenden Symbolfolgen wird die Symbolfolge als gesendet angenommen, deren zugehörige generierte Empfangsfolge die geringsten Abweichungen von der tatsächlich empfangenen Empfangsfolge hat.

Um den Aufwand zu reduzieren, werden beim bekannten Viterbi-Algorithmus beim Vergleich für die Abschnitte der Symbolfolgen sogenannte Metrikinkremente berechnet, die anschließend zu einer Gesamtmatrix für eine der in Frage kommenden Symbolfolgen addiert werden. Zu vorgegebenen Schritten sk gibt es beim 40 Durchführen des Viterbi-Algorithmus eine Anzahl von Symbolfolgen bzw. Symbolvektoren $\{gQm(sk)\} = \{gqm(sk)1, \dots, gqm(sk)L-1\}$. Dabei kennzeichnet m die verschiedenen in Frage kommenden Symbolvektoren zu einem bestimmten Schritt sk; L kennzeichnet die Anzahl von Symbolen in unten erläuterten Übergängen. Wird im Verlaufe des Viterbi-Algorithmus die nächste Teilsymbolfolge betrachtet, so wird genau ein Symbol von links in den Symbolvektor $\{gQm(sk)\}$ geschoben, so daß sich ein Symbolvektor $\{gQm(sk+1)\} = \{gqm(sk+1)1, \dots, gqm(sk+1)L-1\}$ ergibt. Einzelne Symbole innerhalb eines Vektors sind hierbei durch Nachstellen einer Zahl gekennzeichnet. Die ersten $L-2$ Elemente des Symbolvektors $\{gQm(sk)\}$ stimmen mit den letzten $L-2$ Elementen des Symbolvektors $\{gQm(sk+1)\}$ überein. Die Symbolvektoren $\{gQm\}$ werden auch als Zustände bezeichnet. Für den Übergang vom Zustand $\{gQm(sk)\}$ zu einem Zustand $\{gQm(sk+1)\}$ beim Einschieben eines Symbols, kann auch ein Übergangsvektor $\{gSm(sk)\} = \{gsm(sk)1, \dots, gsm(sk+1)L\}$ definiert werden, dessen erstes Element 50 $gsm(sk)1$ mit dem Element $gqm(sk+1)1$ übereinstimmt. Die weiteren Elemente des Übergangsvektors $\{gSm(sk+1)\}$ sind mit denen des Zustandsvektors $\{gQm(sk)\}$ identisch.

Beim Viterbi-Algorithmus gibt die Anzahl der in Frage kommenden Symbolvektoren $\{gQm(sk)\}$ bzw. die Anzahl der möglichen Übergangsvektoren $\{gSm(sk)\}$ einen Anhaltspunkt für den in jedem Schritt des Viterbi-Algorithmus durchzuführenden Aufwand an.

55 Soll der Viterbi-Algorithmus in einem Empfänger verwendet werden, in dem das CDMA-Verfahren angewendet wird, so potenziert sich der Aufwand. Vorgeschlagen wurde ein Verfahren, das auch als Vektor-Viterbi-Algorithmus bezeichnet wird, weil mehrere Zustandsvektoren einen kombinierten Zustandsvektor bilden. Eine Darstellung des Vektor-Viterbi-Algorithmus befindet sich zum Beispiel in einem Artikel von W. van Etten, in "IEEE Transactions on Communications", Februar 1976, Seite 276 bis 283. Der bekannte Vektor-Viterbi-Algorithmus hat aufgrund der Länge $L \cdot N$ der Übergangsvektoren, in denen Symbole für N Teilnehmer enthalten sind einen erhöhten Rechenaufwand zur Folge, der die Durchführbarkeit des Vektor-Viterbi-Algorithmus in Frage stellt. Zumindest wird aber die Anzahl N der Teilnehmer, die gleichzeitig in einem Kanal senden dürfen, 60 beschränkt.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zum Ermitteln einer von mindestens zwei nach dem CDMA-Verfahren codierter Symbolfolgen in einem Empfänger anzugeben, das mit geringem Rechenaufwand auch bei einer Vielzahl von Teilnehmern durchgeführt werden kann.

65 Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst, bei dem die folgenden Schritte ausgeführt werden:

- a) Aus dem Empfangssignal werden die Übertragungskanäle der beiden Teilnehmer abgeschätzt, wobei für jeden abgeschätzten Übertragungskanal eine Folge von Kanalschätzwerten erzeugt wird,
- b) aus dem Empfangssignal wird für jedes gesendete Symbol ein Empfangswertvektor ermittelt, der mindestens zwei Komponenten enthält,
- c) aus dem Empfangswertvektor und den Kanalschätzwertfolgen wird unter Verwenden des Viterbi-Algorithmus unter Berücksichtigung von Metrikinkrementen für Zustands-Übergänge die Symbolwertfolge ermittelt,

wobei zur Berechnung mindestens eines Metrikinkrements mindestens ein Fehlerwert gebildet wird, der ein Maß für eine Abweichung des Empfangswertvektors von einem Soll-Empfangswertvektor ist, der mit Hilfe der Kanalschätzwertfolgen für die beiden Teilnehmer erzeugt wird, und wobei beim Berechnen des Fehlerwerts für den ersten Teilnehmer eine Folge derjenigen Symbolwerte verwendet wird, die den zum Metrikinkrement gehörenden Übergang eindeutig definiert.

Die Erfindung geht von der Erkenntnis aus, daß der bisher für das CDMA-Verfahren vorgeschlagene Vektor-Viterbi-Algorithmus aufgrund der Vereinigung mehrerer Zustandsvektoren zu einem kombinierten Zustandsvektor einen unvermeidbar hohen Rechenaufwand zur Folge hat. Deshalb wird bei der Erfindung jeder Einzelschritt des Viterbi-Algorithmus für jeden Teilnehmer des CDMA-Verfahrens getrennt durchgeführt, d. h. es werden individuelle Viterbi-Algorithmen verwendet. Eine Verkopplung der individuellen Viterbi-Algorithmen ist lediglich indirekt über den Austausch von bereits für andere Teilnehmer berechneter Metrik vorgesehen. Bei der Erfindung wird für den Teilnehmer, für den der individuelle Viterbi-Algorithmus durchgeführt wird, eine Folge derjenigen Symbolwerte verwendet, die den zum Metrikinkrement gehörenden Übergang eindeutig definiert. Eindeutig bedeutet dabei, daß Übergänge für die anderen Teilnehmer zum Definieren des zum Metrikinkrement gehörenden Übergangs nicht herangezogen werden. Überraschenderweise zeigt sich, daß der Aufwand zur mehrmaligen Durchführung individueller Viterbi-Algorithmen erheblich unter dem Aufwand für ein einmaliges Durchführen des Vektor-Viterbi-Algorithmus liegt.

Die Erfindung geht außerdem von der Überlegung aus, daß beim Durchführen des Viterbi-Algorithmus für Symbole, die mit dem CDMA-Verfahren codiert wurden, beim Berechnen der Metrikinkremente für alle Teilnehmer des CDMA-Verfahrens Symbole festgelegt werden müssen. Dieses Problem tritt beim bekannten Viterbi-Algorithmus nicht auf. Die Wahl der Symbolfolgen für die anderen Teilnehmer erfolgt bei der Erfindung auf zweckmäßige Art und Weise, wie sie in den Unteransprüchen angegeben ist. Es zeigt sich, daß durch das erfindungsgemäße Verfahren ein Ermitteln der Symbolfolgen für den jeweiligen Teilnehmer möglich ist, auf den sich der individuelle Viterbi-Algorithmus bezieht. Das Ermitteln gelingt um so besser, je näher die für die anderen Teilnehmer festgelegten Symbolwertfolgen mit den tatsächlich gesendeten Symbolwertfolgen übereinstimmen.

Da nur in einem Idealfall davon ausgegangen werden kann, daß für die anderen Teilnehmer die gesendeten Symbolwertfolgen bereits beim Durchführen des Viterbi-Algorithmus nach der Erfindung bekannt sind, wird bei der Erfindung zur Berechnung eines betrachteten Metrikinkrements mindestens ein Fehlerwert berechnet. Die Anzahl der Fehlerwerte wird bei der Erfindung durch die Anzahl von Symbolwertfolgen bestimmt, die für den zweiten Teilnehmer wahrscheinlich sind. Im negativen Extremfall ist nichts über die Symbolwertfolgen des zweiten Teilnehmers bekannt, so daß für jede mögliche Symbolwertfolge ein Fehlerwert gebildet wird. Im positiven Extremfall ist die wahrscheinlichste Symbolwertfolge des anderen Teilnehmers zum betrachteten Zeitpunkt bekannt, so daß nur ein einziger Fehlerwert pro Metrikinkrement berechnet wird. Die verfügbaren Informationen über die Symbolwertfolgen der anderen Teilnehmer richten sich z. B. danach, ob die individuellen Viterbi-Algorithmen schrittweise parallel oder schrittweise hintereinander ausgeführt werden. Selbst wenn bereits Informationen vorliegen, ist es zum Vermeiden von Fehlern zweckmäßig mehrere Symbolwertfolgen für die anderen Teilnehmer bei der Berechnung des Metrikinkrements zu berücksichtigen, wenn die Richtigkeit der vorliegenden Information nicht vollständig sicher ist.

Durch die Erfindung verringert sich der Rechenaufwand gegenüber dem Vektor-Viterbi-Algorithmus erheblich, da die Anzahl der Teilnehmer in die Anzahl der benötigten Rechenoperationen nicht mehr exponentiell, sondern annähernd linear eingeht. Der Rechenaufwand verringert sich erheblich durch die Erfindung. Außerdem verringert sich bei der Erfindung der Speicheraufwand für die Durchführung des Viterbi-Algorithmus, da die Anzahl der Teilnehmer nur noch linear in den Speicheraufwand eingeht. Das liegt zum einen daran, daß die Anzahl möglicher Übergänge aufgrund der kürzeren Übergangsvektoren gegenüber dem Vektor-Viterbi-Algorithmus verringert wird und daß zum anderen für das Abspeichern der Pfade bei der Durchführung des Viterbi-Algorithmus weniger Speicherplatz benötigt wird.

In einem Ausführungsbeispiel der Erfindung wird beim Berechnen des Fehlerwerts für den zweiten Teilnehmer eine Folge von Symbolwerten verwendet, die mit großer Wahrscheinlichkeit ein Abschnitt einer zum Zeitpunkt des Übergangs durch den zweiten Teilnehmer gesendeten Symbolfolge ist. Durch diese Maßnahme wird der Aufwand zur Berechnung des Metrikinkrements maximal reduziert. Da oft jedoch die wahrscheinlichste Folge von Symbolwerten für den zweiten Teilnehmer nicht bekannt ist, muß ein Kompromiß zwischen möglicher Fehlentscheidung und Aufwand eingegangen werden. Aus diesem Kompromiß resultiert dann die tatsächlich betrachtete Anzahl von Symbolwertfolgen für den zweiten Teilnehmer bei Berechnung des jeweiligen Metrikinkrements.

Werden alle theoretisch in Frage kommenden Symbolwertfolgen für den zweiten Teilnehmer bei der Berechnung des Metrikinkrements betrachtet, so tritt eine Mitteilung auf. Da die Metrikinkremente das Entscheidungskriterium sind, nach dem zwischen den verschiedenen in Frage kommenden Symbolfolgen für den ersten Teilnehmer ausgewählt wird, ist diese Auswahl durch den zweiten Teilnehmer aufgrund der Mittlung kaum gestört, und erfolgt somit optimal. Dies geschieht durch eine ODER-Verknüpfung der betrachteten Möglichkei-

ten für den zweiten Teilnehmer.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung werden als Maß für die Wahrscheinlichkeit Metriken verwendet, die für den zweiten Teilnehmer in einem zweiten Viterbi-Algorithmus berechnet werden. In diesem Ausführungsbeispiel wird somit parallel für jeden Teilnehmer des CDMA-Verfahrens ein individueller Viterbi-Algorithmus durchgeführt. Die Zwischenergebnisse können bei diesem Ausführungsbeispiel der Erfindung wechselseitig zur Verbesserung der Endergebnisse der beiden individuellen Viterbi-Algorithmen verwendet werden. Die Anzahl von Zwischenergebnissen, welche aus dem jeweils anderen individuellen Viterbi-Algorithmus verwendet wird, läßt sich zwischen eins und einer Maximalanzahl festlegen, welche durch die möglichen Kombinationen von Symbolen in einem Übergangsvektor gegeben ist. Die tatsächlich verwendete Zahl hängt z. B. von dem zu vertretenden Aufwand ab. Auf jeden Fall sollte die Zahl verwendeter Zwischenergebnisse so hoch sein, daß das erfindungsgemäße Verfahren nicht in eine Richtung gezwungen wird, die ein zu starkes Abweichen der ermittelten Symbolwertfolge von der tatsächlichen Symbolwertfolge zur Folge hat.

Das Berechnen der Fehlerwerte kann in mehrere Abschnitte unterteilt werden. In diesem Fall werden Beiträge zum Fehlerwert für den ersten und den zweiten Teilnehmer getrennt berechnet. Dies kann zum einen durch zeitlich parallele Berechnung oder eine zeitlich aufeinanderfolgende Berechnung geschehen. Die parallele Berechnung führt zu einer Verringerung des notwendigen Zeitaufwands zur Berechnung der Fehlerwerte und die serielle Berechnung gestattet es, den schaltungstechnischen Aufwand für die Berechnung gering zu halten, da z. B. Speicher mehrfach genutzt werden können.

In einem Ausführungsbeispiel der Erfindung wird der Empfangswertvektor durch Abtastung des Empfangssignals mit einem Subsymboltakt erzeugt, der auch als Chiptakt bezeichnet wird. Diese Maßnahme gestattet es, den Empfangswertvektor auf einfache Art und Weise aus dem Empfangssignal zu erzeugen.

In einem anderen Ausführungsbeispiel der Erfindung wird der Empfangswertvektor durch eine Filterbank erzeugt (matched filter). Dieses Verfahren ermöglicht eine Unterabtastung des Empfangssignals ohne wesentlichen Informationsverlust. Durch die Unterabtastung wird erreicht, daß die Berechnung der Fehlerwerte auf Symbole bezogen werden kann. Demzufolge sinkt im Vergleich zu einer Fehlerberechnung bezogen auf den Subsymboltakt die notwendige Geschwindigkeit für den Echtzeit-Betrieb. Durch die parallele Verarbeitung der durch die Filterbank erzeugten Werte kommt es zu einem schaltungstechnischen bzw. softwaretechnischen Mehraufwand. Der Gesamtaufwand bei Einsatz der Filterbank liegt aber unter dem Aufwand bei der Fehlerberechnung im Subsymboltakt, da üblicherweise mehr Subsymbole (Chips) pro Symbol verwendet werden, als Teilnehmer vorhanden sind.

Bei der Filterung müssen bereits Kanalschätzfunktionen für die Übertragungskanäle des ersten und des zweiten Teilnehmers bekannt sein. Aus diesen Kanalschätzfunktionen läßt sich die Kanalschätzwertfolge auf einfache Art und Weise erzeugen. Handelt es sich um analoge Filter, so wird die Kanalschätzfunktion abgetastet. Bei digitalen Filtern müssen nur Koeffizienten der Kanalschätzfunktion übernommen werden.

Die Erfindung betrifft außerdem einen Empfänger zum Ermitteln einer CDMA-codierten Symbolfolge aus einem Empfangssignal. Dieser Empfänger realisiert das erfindungsgemäße Verfahren. Somit übertragen sich die oben genannten Wirkungen auch auf dem Empfänger.

Durch die Erfindung wird erreicht, daß die Durchführung des Viterbi-Algorithmus auch für Symbolwerte technisch realisierbar wird, die nach dem CDMA-Verfahren codiert sind. Außerdem kann durch die in den Ausführungsbeispielen angegebenen Maßnahmen erreicht werden, daß der Aufwand weiter gesenkt wird.

Im folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnungen erläutert. Darin zeigen:

Fig. 1 die Signalbearbeitung für zwei Teilnehmer des CDMA-Verfahrens,

Fig. 2 eine Darstellung des Symboltakts und des Subsymboltakts,

Fig. 3 ein Blockschaltbild für die Nachbildung von vier Empfangssignalen,

Fig. 4 die Gruppen zur Berechnung der Metrikinkremente im individuellen Viterbi-Algorithmus,

Fig. 5 ein Blockschaltbild für die Berechnung der neuen Metrik im individuellen Viterbi-Algorithmus,

Fig. 6 eine Prinzipdarstellung einer Schaltungsarchitektur für die Durchführung des individuellen Viterbi-Algorithmus.

Fig. 7 ein zweites Ausführungsbeispiel zur Durchführung individueller Viterbi-Algorithmus.

Fig. 1 zeigt die Signalverarbeitung für zwei Teilnehmer Tln1 und Tln2 in einem Mobilfunknetz, in welchem das CDMA-Verfahren zum Austausch von Informationen zwischen den Teilnehmern Tln1, Tln2 und einem Empfänger E1 in einer feststehenden Basisstation genutzt wird. Die Teilnehmer Tln1 und Tln2 können sich bezüglich des Empfängers E1 bewegen und senden bzw. empfangen im gleichen Frequenzbereich zur gleichen Zeit. Der Teilnehmer Tln1 sendet im Ausführungsbeispiel der Fig. 1 eine Information I1, z. B. ein Sprachsignal. Die Information I1 wird in einer faltungscodierten Symbolfolge {S1} hinterlegt. Im Ausführungsbeispiel können die einzelnen Symbole s1 der Symbolfolge {S1} die numerischen Werte "1" oder "-1" annehmen, so daß es sich um eine Binärfolge handelt. Die Symbolfolge {S1} wird mit einem dem Teilnehmer Tln1 zugeordneten Schlüssel C1 codiert und anschließend in einem Sender 10 in ein erstes Sendesignal umgewandelt, das über eine Antenne 12 abgestrahlt wird. Das über die Antenne 12 abgestrahlte Sendesignal breitet sich in Richtung einer Empfangsantenne 14 aus, die Bestandteil des Empfängers E1 ist. Zwischen der Antenne 12 und der Empfangsantenne 14 befindet sich somit ein erster Übertragungskanal U1. Bei der Übertragung wird das von der Antenne 12 abgestrahlte Sendesignal durch Störungen F1 gestört, die z. B. durch Mehrwegausbreitung entstehen.

Eine Information I2, die z. B. Teil einer Datenfolge ist, wird durch den Teilnehmer Tln2 in einer faltungscodierten Symbolfolge {S2} hinterlegt. Die Symbolfolge {S2} ist ebenfalls eine Binärfolge. Mit Hilfe eines Schlüssels C2, der dem Teilnehmer Tln2 zugeordnet ist, wird die Symbolfolge {S2} codiert, in ein Sendesignal umgewandelt und von einem Sender 16 über eine Antenne 18 abgestrahlt. Das abgestrahlte Sendesignal der Antenne 18 trifft ebenfalls auf die Empfangsantenne 14. Zwischen Antenne 18 und Empfangsantenne 14 existiert somit ein zweiter Übertragungskanal U2, in dem ebenfalls Störungen F2 auftreten.

An der Empfangsantenne 14 kommt es zur Überlagerung der über die Antenne 12 und die Antenne 18 abgestrahlten Sendesignale, so daß im Empfänger E1 nur ein einziges Empfangssignal $z(t)$ empfangen wird. Das Empfangssignal $z(t)$ wird in einem Subsymboltakt SST (sogenannter Chiptakt) abgetastet, wobei eine Empfangsfolge $\{Z\}$ entsteht. Die Empfangsfolge $\{Z\}$ wird im Empfänger E1 zum Ermitteln einer Kanalschätzfolge $\{H1\}$ für den Übertragungskanal $\hat{U}1$ und zum Ermitteln einer Kanalschätzfolge $\{H2\}$ für den Übertragungskanal $\hat{U}2$ verwendet. In der Kanalschätzfolge $\{H1\}$ bzw. $\{H2\}$ ist außerdem der Einfluß der Modulation im Sender 10 bzw. 16 berücksichtigt. Die beiden Kanalschätzfolgen $\{H1\}$, $\{H2\}$ können während eines sogenannten Bursts unverändert sein oder aber an eine Veränderung der Übertragungskanäle $\hat{U}1$ und $\hat{U}2$ angepaßt werden.

Aus der Empfangsfolge $\{Z\}$, den Kanalschätzungen $\{H1\}$, $\{H2\}$ und den auch im Empfänger E1 bekannten Schlüsseln C1 und C2 werden im Empfänger E1 mit Hilfe von durch einen Block 20 dargestellten individuellen Viterbi-Algorithmen die faltungscodierten Symbolfolgen $\{S1\}$ und $\{S2\}$ abgeschätzt. Dabei entsteht für den ersten Teilnehmer Tln1 eine geschätzte Symbolfolge $\{S1+\}$ und für den Teilnehmer Tln2 eine geschätzte Symbolfolge $\{S2+\}$. Aus den im Empfänger E1 geschätzten Symbolfolgen $\{S1+\}$ bzw. $\{S2+\}$ wird unter Zuhilfenahme eines Faltungskodierers (nicht dargestellt) für den ersten Teilnehmer Tln1 eine Information I1+ ermittelt. Die Information I1+ stimmt im wesentlichen mit der Information I1 überein. Dasselbe trifft für die Information I2 und die Information I2+ zu.

Fig. 2 zeigt eine Periodendauer T des Symboltakts ST und eine Periodendauer T_s des Subsymboltakts SST. Ein Ausschnitt 50 aus der Symbolfolge $\{S1\}$ enthält ein Symbol "1" und ein Symbol "-1". Der Schlüssel C1 wird durch vier aufeinanderfolgende Abtastwerte 52 bis 58 definiert. Die Abtastwerte 52 und 54 sind in der Fig. 2 normiert und haben einen Wert von "+1". Die beiden ebenfalls normierten Abtastwerte 56 und 58 haben jeweils einen Wert von "-1". Zwischen zwei benachbarten Abtastwerten, z. B. zwischen dem Abtastwert 52 und dem Abtastwert 54 liegt eine Zeit T_s , die den Subsymboltakt SST definiert. Ein Ausschnitt 60 der codierten Symbolfolge $\{S1\}$ zeigt das Ergebnis der Codierung des Ausschnitts 50 mit dem Schlüssel C1. In dem Ausschnitt 60 der codierten Symbolfolge $\{S1\}$ lassen sich zwei Teilfolgen 62 und 64 unterscheiden. Die Teilfolge 62 ist die verschlüsselte "1" und die Teilfolge 64 ist die verschlüsselte "-1". Für das Verschlüsseln eines Symbols wird eine Zeit T benötigt, die das Vierfache der Zeit T_s ist. Die Zeit T definiert den Symboltakt ST.

Ein Ausschnitt 70 aus der Symbolfolge $\{S2\}$ wird ebenfalls codiert, wobei jedoch der Schlüssel C2 verwendet wird. Vier Abtastwerte 72 bis 78 des Schlüssels C2 sind so vorgegeben, daß eine Multiplikation der Abtastwerte 52, 54, 56 bzw. 58 mit dem Abtastwert 72, 74, 76 bzw. 78 mit einer anschließenden Summation über die Produkte zum Wert Null führt. Mit anderen Worten sind die beiden Schlüssel C1 und C2 orthogonal zueinander. Beim Codieren des Ausschnitts 70 aus der Symbolfolge $\{S2\}$ mit dem Schlüssel C2 entsteht ein Ausschnitt 80 aus der codierten Symbolfolge $\{S2\}$. Eine erste Teilfolge 82 ist die Codierung eines ersten Symbols "1" im Ausschnitt 70, und eine Teilfolge 84 enthält ein zweites Symbol "1" des Ausschnitts 70. Die Teilfolge 62 wird synchron zur Teilfolge 82 erzeugt. Einen Symboltakt später wird dann die Teilfolge 64 synchron mit der Teilfolge 84 erzeugt. Die Synchronität muß jedoch nicht in jedem Fall gegeben sein und wird im allgemeinen durch die Übertragungskanäle $\hat{U}1$, $\hat{U}2$ zerstört.

Fig. 3 zeigt ein Blockschaltbild für die Nachbildung von jeweils vier Empfangswerten $y1$, $y2$, $y3$ und $y4$, die mit Werten $z1$, $z2$, $z3$ und $z4$ der Empfangsfolge $\{Z\}$ beim Durchführen des modifizierten Viterbi-Algorithmus verglichen werden, wenn für einen Übergang $\{gS1m(sk)\}$ für den Teilnehmer Tln1 das Metrikinkrement berechnet wird. Die Bezeichnung $\{gS1m(sk)\}$ ist so zu interpretieren, daß es sich bei dem Übergang um eine geschätzte Teilfolge der Symbolfolge $\{S1\}$ zu einem diskreten Schritt sk bei der Durchführung des Viterbi-Algorithmus handelt. Der Kleinbuchstabe m gekennzeichnet den betrachteten Übergang eindeutig. Einzelne Symbole des Übergangs $\{gS1m(sk)\}$ werden durch Nachstellen einer Zahl gekennzeichnet, z. B. $gs1m(sk)1$.

Beim modifizierten Viterbi-Algorithmus nach dem im folgenden beschriebenen Ausführungsbeispiel der Erfindung wird der bekannte Viterbi-Algorithmus trotz Anwendung des CDMA-Verfahrens separat für jeden Teilnehmer Tln1, Tln2 durchgeführt. Die folgenden Ausführungen beziehen sich im wesentlichen auf einen individuellen Viterbi-Algorithmus zur ausschließlichen Bestimmung der Symbolfolge $\{S1+\}$. Das Verfahren zur Bestimmung der Symbolfolge $\{S2+\}$ erfolgt jedoch auf analoge Weise.

Für jeden betrachteten Übergang $\{gS1m(sk)\}$ werden in jedem diskreten Schritt sk die Metrikinkremente nach der folgenden Formel oder einer geeigneten Näherung für diese Formel berechnet:

$$M(\bar{z}|\{gS1m(sk)\}) = -\log \sum_{n=0}^{(SZ^L)-1} \exp\left(-\frac{|\bar{z} - \bar{y}_n|^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

Dabei kennzeichnen M das jeweilige Metrikinkrement, \bar{z} einen Vektor mit den Komponenten $z1$, $z2$, $z3$ und $z4$, der erste vertikale Strich die bedingte Wahrscheinlichkeit, \log die Logarithmusfunktion, \exp die Exponentialfunktion, die weiteren vertikalen Striche den absoluten Betrag, σ die Rauschleistungsdichte, n eine Laufvariable, SZ die Anzahl verschiedener Symbole in einer Symbolmenge, aus der die Symbole für die Symbolwertfolgen bzw. für die Übergänge entnommen werden, L eine Symbolanzahl der Symbole pro Übergang und \bar{y}_n einen Vektor mit den Komponenten $y1$, $y2$, $y3$ und $y4$, wobei die Laufvariable n den bei der Berechnung der Komponenten von \bar{y}_n festzulegenden Übergang für den zweiten Teilnehmer Tln2 kennzeichnet. Der Ausdruck $|\bar{z} - \bar{y}_n|$ wird auch als Fehlerwert e bezeichnet.

Im folgenden wird für die Symbolanzahl L der Übergänge $\{gS1(sk)\}$ der Wert drei festgelegt. Werden alle Kombinationen von drei Symbolen mit jeweils einem der beiden Symbolwerte "+1" und "-1" gebildet, so

ergeben sich 2^L , d. h. acht mögliche Übergänge $\{gS1(sk)\}$. Somit sind in jedem Schritt sk Metrikinkremente für $m=1$ bis $m=2^L=8$ zu berechnen.

In Fig. 3 ist die Berechnung von \bar{y}_n sowie die Berechnung von e^2 für einen Summanden der Metrik-Formel (1) dargestellt. Letztlich wird mit der gezeigten Anordnung der Fig. 3 der Einfluß der Übertragungskanäle \bar{U}_1, \bar{U}_2 auf Teilabschnitte der Symbolfolge $\{S1\}, \{S2\}$ nachgebildet. Für den Teilnehmer $Tn1$ wird als in Frage kommende Teilfolge der Symbolfolge $\{S1\}$ der Übergang $\{gS1m(sk)\}$ betrachtet. Für den Teilnehmer $Tn2$ wird ein Teilabschnitt $\{gS2m(sk)\}$ der Symbolfolge $\{S2\}$ festgelegt. Der Zugriff auf die Symbole des Übergangs $\{gS1m(sk)\}$ wird durch Verzögerungsglieder 100 und 102 dargestellt. Ist die Symbolzahl L größer als drei, so werden weitere Verzögerungsglieder 104 verwendet. Die Verzögerungsglieder 100, 104, 102 sind mit Bussystemen 106, 107, 108 bzw. 109 aus jeweils vier Leitungen hintereinander verbunden. Das Bussystem 106 ist mit den Eingängen des Verzögerungsglieds 100 verbunden. Das Bussystem 107 führt von Ausgängen des Verzögerungsglieds 100 zu Eingängen des Verzögerungsglieds 104 bzw., wenn dieses nicht vorhanden ist, zu Eingängen des Verzögerungsglieds 102. Außerdem führt das Bussystem 108 gegebenenfalls von den Ausgängen des Verzögerungsglieds 104 zu den Eingängen des Verzögerungsglieds 102. Schließlich ist das Verzögerungsglied 102 ausgangsseitig mit dem Bussystem 109 verbunden.

Der Zugriff auf die Symbole des Übergangs $\{gS2m(sk)\}$ wird durch Verzögerungsglieder 110 und 112 dargestellt. Für eine Symbolanzahl L größer als drei werden weitere Verzögerungsglieder 114 verwendet. Die Verzögerungsglieder 110 bis 114 sind über Bussysteme 116 bis 119 aus jeweils vier Leitungen analog zu den Verzögerungsgliedern 100 bis 104 hintereinander verbunden.

Die Symbole $gs1m(sk)$ werden mit Hilfe des Schlüssels C1 verschlüsselt, so daß jeweils vier Abtastwerte entstehen. Die Abtastwerte für das Symbol $gs1m(sk)1$ werden mit $a1, a2, a3$ und $a4$ bezeichnet. Analog dazu werden die Abtastwerte für das zweite Symbol $gs1m(sk)2$ bzw. für das dritte Symbol $gs1m(sk)3$ mit $a5$ bis $a8$ bzw. mit $a9$ bis $a12$ bezeichnet. Der Abtastwert $a1, a5$ bzw. $a9$ ist auf der ersten Leitung des Bussystems 106, 107 bzw. 109, der Abtastwert $a2, a6$ bzw. $a10$ ist auf der zweiten Leitung des Bussystems 106, 107 bzw. 109, der Abtastwert $a3, a7$ bzw. $a11$ ist auf der dritten Leitung des Bussystems 106, 107 bzw. 109 und der Abtastwerte $a4, a8$ bzw. $a12$ ist auf der vierten Leitung des Bussystems 106, 107 bzw. 109 verfügbar.

Die Symbole des Übergangs $\{gS2n(sk)\}$ werden mit dem Schlüssel C2 verschlüsselt, so daß wiederum jeweils vier Abtastwerte entstehen, die für das erste Symbol $gs2m(sk)1$ mit $b1$ bis $b4$, für das zweite Symbol $gs2m(sk)2$ mit $b5$ bis $b8$ und für das dritte Symbol $gs2m(sk)3$ mit $b9$ bis $b12$ bezeichnet sind. Der Abtastwert $b1, b5$ bzw. $b9$ ist auf der ersten Leitung des Bussystems 116, 117 bzw. 119, der Abtastwert $b2, b6$ bzw. $b10$ ist auf der zweiten Leitung des Bussystems 116, 117 bzw. 119, der Abtastwert $b3, b7$ bzw. $b11$ ist auf der dritten Leitung des Bussystems 116, 117 bzw. 119 und der Abtastwerte $b4, b8$ bzw. $b12$ ist auf der vierten Leitung des Bussystems 116, 117 bzw. 119 verfügbar.

Die jeweiligen Abtastwerte $a1$ bis $a12$ werden mit der Kanalschätzfolge $\{H1\}$ gefaltet, wobei deren Koeffizienten $h1,1$ bis $h1,12$ verwendet werden. Die Abtastwerte $b1$ bis $b12$ werden mit der zweiten Kanalschätzfolge $\{H2\}$ gefaltet, wobei deren Koeffizienten $h2,1$ bis $h2,12$ verwendet werden. Bei der Faltung werden vier Summen gebildet, die durch Blöcke 120 bis 126 dargestellt werden, die jeweils an ihrem Ausgang die nachgebildeten Empfangswerte $y1, y2, y3$ und $y4$ haben. Das Erzeugen der Eingangswerte für die Blöcke 120 bis 126 wird anhand der Symbole $gs1m(sk)1$ und $gs2n(sk)1$ exemplarisch erläutert. Der Abtastwert $a1$ wird mit dem Koeffizienten $h1,1$ multipliziert und das Ergebnis wird anschließend als Summand für die Summenbildung im Block 120 verwendet. Die Abtastwerte $a2, a3$ bzw. $a4$ werden mit den Koeffizienten $h1,2; h1,3$ bzw. $h1,4$ multipliziert, wobei die so entstehenden Produkte zur Summation im Block 122, 124 bzw. 126 verwendet werden. Der Abtastwert $b1$ wird mit dem Koeffizienten $h2,1$ multipliziert und das Ergebnis wird im Block 120 weiterverarbeitet. Die Abtastwerte $b2, b3$ bzw. $b4$ werden mit den Koeffizienten $h2,2; h2,3$ bzw. $h2,4$ multipliziert. Anschließend wird das zum Abtastwert $b2$ gehörende Produkt im Block 122, das zum Abtastwert $b3$ gehörende Produkt im Block 124 und das zum Abtastwert $b4$ gehörende Produkt im Block 126 weiterverarbeitet. In den Blöcken 120 bis 126 wird somit auch die Überlagerung an der Empfangsantenne 14 nachgebildet.

In Fig. 3 ist außerdem die Empfangsantenne 14 dargestellt, die das Empfangssignal $z(t)$ empfängt. Wie bereits erwähnt, entsteht durch Abtastung des mit der Empfangsantenne 14 empfangenen Empfangssignals $z(t)$ im Subsymboltakt SST die Empfangsfolge $\{Z\}$. Aus dieser Empfangsfolge $\{Z\}$ werden die zum diskreten Zeitpunkt tk gehörenden Subabtastwerte, d. h. die tatsächlichen Empfangswerte $z1, z2, z3$ und $z4$ entnommen. Die Abtastung wird in einer Abtasteinheit 130 durchgeführt. Die Bildung des Fehlerwerts e bzw. eines Fehlerwertquadrates e^2 kann nun nach der bekannten Betragsformel erfolgen:

$$e^2 = |\bar{z} - \bar{y}|^2 = (z1 - y1)^2 + (z2 - y2)^2 + (z3 - y3)^2 + (z4 - y4)^2 \quad (2)$$

Diese Berechnung wird anhand der Fig. 5 unten erläutert. Zuvor soll jedoch der Einfluß der Laufvariable n bei der Berechnung des Metrikinkrements nach Formel (1) dargestellt werden.

Fig. 4 zeigt in einem oberen Teil die zur Berechnung der Metrikinkremente $m=1$ bis $m=8$ in einem jeweiligen Schritt sk festzulegenden Übergänge $\{gS1m(sk)\}$ und $\{gS2n(sk)\}$, wenn für den Teilnehmer $Tn1$ die Symbolfolge $\{S1+\}$ ermittelt wird. In einem unteren Teil werden die festzusetzenden Übergänge $\{gS1m(sk)\}$ und $\{gS2n(sk)\}$ für den modifizierten Viterbi-Algorithmus dargestellt, der für den Teilnehmer $Tn2$ die Symbolfolge $\{S2+\}$ ermittelt.

Bei einer Symbolanzahl $L=3$ gibt es für die Symbolwerte "1" und "-1" genau acht verschiedene Übergänge $\{gS1m(sk)\}$, wobei m von 0 bis 7 läuft. Anstelle der Schreibweise in geschweiften Klammern wird nun eine einfachere Schreibweise verwendet, bei der die Übergänge mit $U0$ bis $U7$ bezeichnet werden. Der Übergang $U0$ ist durch die Symbolfolge "-1", "-1" und "-1" definiert. Für die anderen Übergänge $U1$ bis $U7$ gilt, $U1 = [-1, -1, +1]$ $U2 = [-1, +1, -1]$ $U3 = [-1, +1, +1]$ $U4 = [+1, -1, -1]$ $U5 = [+1, -1, +1]$ $U6 = [+1, +1, -1]$ und $U7 = [+1, +1, +1]$.

Die mit verschobenen Übergänge $\{gS2n(sk)\}$ mit $n=0$ bis $n=8$ werden ebenfalls andere Bezeichnungen für die definierten Übergänge $U0'$ bis $U7'$ sind wie die Übergänge $U0$ bis $U7$ definiert, z. B. $U0' = U0 + 1$.

In Block 150 bis 164 sind jeweils die Übergänge für den ersten Teilnehmer $Tn1$ und den zweiten Teilnehmer $Tn2$ dargestellt, die zur Berechnung der Metrikinkremente $M(z|U0)$ bis $M(z|U7)$ für den Teilnehmer $Tn1$ festgelegt sind. Soll z. B. für den Übergang $U0$ bzw. $\{gS1m(sk)\}$ mit $m=0$ das Metrikinkrement $M(z|U0)$ berechnet werden, so wird der Übergang $U0$ für den Teilnehmer $Tn1$ festgelegt und nacheinander mit den Übergängen $U0$ bis $U7$ für den Teilnehmer $Tn2$ kombiniert, wie im Block 150 dargestellt. Somit läuft die Berechnung der Metrikinkremente $M(z|U0)$ bis $M(z|U7)$ bei festem $m=0$ im Block 150 von $n=0$ bis $n=7$. Für jede Kombination, z. B. $U0$ mit $U0'$, wird ein Beitrag zum Metrikinkrement $M(z|U0)$ berechnet. Die Berechnung der Metrikinkremente $M(z|U1)$ bis $M(z|U7)$ erfolgt analog für die Übergänge $U1$ bis $U7$, wie in den Blöcken 152 bis 164 gezeigt, wobei wiederum jeweils einer der Übergänge $U1$ bis $U7$ festgelegt wird.

Bei der Berechnung des individuellen Viterbi-Algorithmus für den Teilnehmer $Tn2$ werden die Metrikinkremente $M(z|U0)$ bis $M(z|U7)$ für einen der Übergänge $U1'$ bis $U7'$ berechnet, indem der jeweilige Übergang $U0$ bis $U7$ unverändert bleibt und sukzessive mit den Übergängen $U0$ bis $U7$ kombiniert wird. Diese Kombinationen sind in Blöcken 170 bis 184 dargestellt. In diesem Fall sind in Formel (1) die Buchstaben m und n zu vertauschen.

Fig. 5 zeigt ein Blockschaltbild für die Berechnung einer neuen Metrik 200 mit dem individuellen Viterbi-Algorithmus. Wie auch beim bekannten Viterbi-Algorithmus erfolgt ein Vergleich zweier Metriken 202 und 204, von denen die kleinere Metrik ausgewählt und zur weiteren Verarbeitung bereitgehalten wird. Das Auswählen und Vergleichen der Metriken 202 und 204 erfolgt in einem Auswahlblock 206.

Die Metrik 202 ist ein Maß für die Abweichung eines ersten sogenannten Pfades im Trellis von der Empfangsfolge $\{Z\}$. Der erste Pfad unterscheidet sich von anderen Pfaden dadurch, daß an seinem Ende der Übergang $U0$ anführt.

Die Metrik 204 ist ein Maß für die Abweichung eines zweiten Pfades im Trellis von der Empfangsfolge $\{Z\}$. Dieser zweite Pfad unterscheidet sich von anderen Pfaden dadurch, daß an seinem Ende der Übergang $U4$ anführt.

Die ersten beiden Pfade vereinigen sich im Schritt sk , so daß zur weiteren Durchführung des Viterbi-Algorithmus der Pfad betrachtet wird, der die kleinste Metrik 202 bzw. 204 hat.

Die Metrik 202 wird in einem Summierer 208 aus der in einem Schritt $sk-1$ berechneten Metrik 212 für den ersten Pfad und dem Metrikinkrement $M(z|U0)$ durch Addition berechnet.

Die Metrik 204 wird in einem Summierer 210 durch Addition der in Schritt $sk-1$ berechneten Metrik 214 für den zweiten Pfad und dem Metrikinkrement $M(z|U4)$ für den Übergang $U0$ berechnet.

Das Metrikinkrement $M(z|U0)$ wird in einem Block 216 aus vier Fehlerwerten $e1$ bis $e4$ berechnet. Die Fehlerwerte $e1$ bis $e4$ werden in Subtrahierern 218, 220, 222 bzw. 224 berechnet. Für die Fehlerwerte $e1$ bis $e4$ gilt: $e1 = z1 - y1$, $e2 = z2 - y2$, $e3 = z3 - y3$, $e4 = z4 - y4$. Damit die Formel (1) für $m=0$ im Block 210 vollständig berechnet wird, werden nacheinander für $n=0$ bis $n=7$ die nachgebildeten Empfangswerte $y1$ bis $y4$ gemäß Fig. 3 bestimmt und mit den tatsächlichen Empfangswerten $z1$ bis $z4$ in dem Summierern 218 bis 224 verglichen (vgl. auch Fig. 4, Block 150).

In einem Block 216 erfolgt auf ähnliche Weise die Berechnung des Metrikinkrements $M(z|U4)$ gemäß Formel (1) für $m=4$. In vier Summierern 218' bis 224' werden vier Fehlerwerte $e1'$ bis $e4'$ berechnet, wobei gilt: $e1' = z1 - y1'$, $e2' = z2 - y2'$, $e3' = z3 - y3'$, $e4' = z4 - y4'$. Dabei sind $y1'$, $y2'$, $y3'$ und $y4'$ nachgebildete Empfangswerte. Die Empfangswerte $y1'$ bis $y4'$ können mit der Schaltung gemäß Fig. 3 zeitlich nach der Berechnung der Empfangswerte $y1$ bis $y4$ berechnet werden. Möglich ist aber auch eine gleichzeitige Berechnung der nachgebildeten Empfangswerte $y1$ bis $y4$ und $y1'$ bis $y4'$ in zwei Schaltungen gemäß Fig. 3.

Die Berechnung des Metrikinkrements $M(z|U4)$ gemäß Formel (1) erfordert, daß die nachgebildeten Empfangswerte $y1'$ bis $y4'$ achtmal für $n=0$ bis $n=7$ berechnet werden (vgl. Block 158, Fig. 4).

Von den Metriken 202 und 204 wird die Metrik ausgesucht, die den kleinsten Wert hat. Diese Metrik wird als neue Metrik 200 zur weiteren Verarbeitung gespeichert. Der zur neuen Metrik gehörende Pfad wird ebenfalls in einem Pfadspeicher zur weiteren Bearbeitung hinterlegt. Der zur größeren Metrik gehörende Pfad wird verworfen, da er zur weiteren Durchführung des modifizierten Viterbi-Algorithmus nicht notwendig ist.

Fig. 6 zeigt eine Prinzipdarstellung einer Schaltungsarchitektur für die Durchführung individueller Viterbi-Algorithmus für den Fall, daß vier Teilnehmer $Tn1$ bis $Tn4$ gleichzeitig Symbolfolgen $\{S1\}$ bis $\{S4\}$ senden können. In diesem Fall treten in der Formel (1) zur Summe für den Laufvariable n zwei weitere Summen für Laufvariablen p und q hinzu, so daß ein Vektor $y_{n,p,q}$ entsteht. Um den Aufwand zur Berechnung eines Metrikinkrements zu verringern, wird eine Aufspaltung der Schaltung gemäß Fig. 3 vorgenommen, die im folgenden näher erläutert wird. Außerdem werden zur Verringerung des beträchtlichen Rechenaufwands bei der Berechnung der Metrikinkremente für den Code $C1$ bis $C4$ nur für den jeweilig betrachteten Code $C1$, $C2$, $C3$ bzw. $C4$ alle berechneten Beiträge verwendet. Für die anderen Codes werden nur die Beiträge verwendet, die wahrscheinlich relevant sind.

In einer Recheneinheit 300 werden Beiträge $yp1$ für alle in Frage kommenden Übergänge des Teilnehmers $Tn1$ berechnet, indem die in der Fig. 3 angegebene Schaltung dahingehend abgewandelt wird, daß die Überlagerung in den Blöcken 120 bis 126 der Fig. 3 noch nicht durchgeführt wird. In jeden Block führen demzufolge nur Beiträge von der geschätzten Symbolfolge $\{gS1m(sk)\}$. Analog dazu werden in Recheneinheiten 302 bis 306 Beiträge $yp2$, $yp3$ bzw. $yp4$ für die Teilnehmer $Tn2$, $Tn3$ bzw. $Tn4$ berechnet.

In Metrikeinheiten 310 bis 316 werden die Metrikinkremente für die individuellen Viterbi-Algorithmus für die Teilnehmer $Tn1$ bis $Tn4$ berechnet. Die Recheneinheit 310 ist über eine dick dargestellte Vollverbindung 320 mit der Metrikeinheit 310 verbunden, so daß sichtbar wird, daß alle berechneten Beiträge der Recheneinheit 300

in der Metrikeinheit 310 verwendet werden. Ebenso ist die Recheneinheit 302, 304 bzw. 306 mit der Metrikeinheit 312, 314 bzw. 316 über Vollverbindungen 322, 324 bzw. 326 verbunden. Die Recheneinheit 300 ist außerdem über dünner gezeichnete Teilverbindungen 330 mit den Metrikeinheiten 312 bis 316 verbunden. Die Recheneinheiten 302 bis 306 sind über Teilverbindungen 332 bis 336 jeweils mit den Metrikeinheiten 310, 312, 314 bzw. 316 verbunden, mit denen sie nicht über Vollverbindungen 322, 324 bzw. 326 verbunden sind.

Beim Berechnen der Metrikinkremente in der Metrikeinheit 310 werden jeweils nur Beiträge aus den Recheneinheiten 302 bis 306 verwendet, die wahrscheinlich relevant sind. Die Relevanz läßt sich z. B. aus Metrikinkrementen bestimmen, die für die betreffenden Übergänge bereits in individuellen Viterbi-Algorithmen 340, 342, 344 bzw. 346 für den Teilnehmer Tln1, Tln2, Tln3 bzw. Tln4 berechnet wurden. So können z. B. in den in der Fig. 4 dargestellten Blöcken 150 bis 164 nur die Übergänge U_0' und U_3' für den Teilnehmer Tln2 relevant sein. In diesem Fall wären pro Block 150 bis 164 nur jeweils zwei Übergangskombinationen zu berechnen.

Auch die Metrikeinheiten 312 bis 316 berechnen die jeweiligen Metrikinkremente nur unter Einbeziehung derjenigen Übergänge für die anderen Teilnehmer Tln1, Tln2, Tln3 bzw. Tln4, deren in den Recheneinheiten 300 bis 306 berechneten Beiträge yp_1 bis yp_4 relevant sind.

Anschließend wird jeweils ein weiterer Schritt sk in den individuellen Viterbi-Algorithmen 340 bis 346 durchgeführt.

Fig. 7 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel für die Durchführung von individuellen Viterbi-Algorithmen. Nunmehr nehmen acht Teilnehmer am CDMA-Verfahren teil, und pro Symbol werden vierzehn Abtastwerte mit Schlüsseln C1 bis C8 verschlüsselt. Aus dem Empfangssignal $z(t)$ werden in einer Kanalschätzereinheit 400 acht Kanalschätzfolgen $\{H_1\}$ bis $\{H_8\}$ für acht Teilnehmer Tln1 bis Tln8 erzeugt. Diese Kanalschätzfolgen $\{H_1\}$ bis $\{H_8\}$ werden zum einen einer Filtereinheit 402 aus acht sogenannten Matched-Filtern zugeführt. Außerdem werden die Kanalschätzfolgen $\{H_1\}$ bis $\{H_8\}$ einer Viterbi-Einheit 404 zugeführt.

Die Filtereinheit 402 enthält acht Filter Fi1 bis Fi8, denen jeweils das Empfangssignal $z(t)$ zugeführt wird. Der Filter Fi1 hat eine Filterfunktion, die aus der Kanalschätzfolge $\{H_1\}$ und aus dem Schlüssel C1 für den Teilnehmer Tln1 berechnet wurde. Am Ausgang des Filters Fi1 liegt ein Filtersignal S1 an. Analog haben die Filter Fi2 bis Fi8 Filterfunktionen, die aus den Kanalschätzfolgen $\{H_2\}$ bis $\{H_8\}$ und den Schlüsseln C2 bis C8 berechnet wurden. Die Filter Fi2 bis Fi8 erzeugen ausgangsseitig Filtersignale S2 bis S8. Ein Dezimierer 406 dezimiert die Filtersignale S1 bis S8 so, daß pro Symbol genau acht Empfangswerte $z_1(sk)$ bis $z_8(sk)$ erzeugt werden.

Die Viterbi-Einheit 404 enthält eine ähnliche Schaltung wie in der Fig. 3 bereits erläutert wurde. Jedoch gibt es nunmehr acht Übergänge und acht Blöcke zur Berechnung der Summen. Die Koeffizienten bestimmen sich aus den Kanaleigenschaften des jeweiligen Übertragungskanals U_1 bis U_8 einschließlich Modulationseinfluß und dem jeweiligen Schlüssel C1 bis C8.

Die Berechnung von Werten y_1 bis y_8 erfolgt analog. Jedoch werden die Symbole der Übergänge nicht mehr verschlüsselt. Auch die Berechnung der Fehlerwerte e erfolgt wie in Fig. 3 erläutert, jedoch für jeweils acht Komponenten z und y .

In der Viterbi-Einheit 404 werden individuelle Viterbi-Algorithmen wie oben erläutert durchgeführt. Am Ausgang der Viterbi-Einheit 404 werden die geschätzten Symbolfolgen $\{S_1 + \}$ bis $\{S_8 + \}$ ausgegeben.

Die Viterbi-Einheit 404 arbeitet prinzipiell im Symboltakt ST. Demzufolge ergeben sich geringere Anforderungen bezüglich der Rechengeschwindigkeit im Vergleich zur Schaltung gemäß Fig. 3. Durch die parallele Verarbeitung der durch die Filterbank erzeugten acht Werte $z_1(sk)$ bis $z_8(sk)$ kommt es zu einem schaltungs-technischen bzw. softwaretechnischen Mehraufwand. Der Gesamtaufwand bei Einsatz der Filterbank liegt aber unter dem Aufwand bei der Fehlerberechnung im Subsymboltakt, da dort für das Beispiel der Fig. 7 vierzehn Abtastwerte bzw. Subsymbole (Chips) pro Symbol zu verarbeiten sind.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Ermitteln einer in einem Empfangssignal $z(t)$ gemäß einem Symboltakt (ST) enthaltenen Folge von Symbolwerten $\{S_1\}, \{S_2\}$,

wobei die Symbolwerte nach dem CDMA-Verfahren mit einem ersten Schlüssel (C1) für einen ersten Teilnehmer (Tln1) von mindestens zwei Teilnehmern (Tln1, Tln2) des CDMA-Verfahrens verschlüsselt sind, bei dem die folgenden Schritte ausgeführt werden:

- a) Aus dem Empfangssignal $z(t)$ werden die Übertragungskanäle (U_1, U_2) der beiden Teilnehmer (Tln1, Tln2) abgeschätzt, wobei für jeden abgeschätzten Übertragungskanal (U_1, U_2) eine Folge von Kanalschätzwerten $\{H_1\}, \{H_2\}$ erzeugt wird,
- b) aus dem Empfangssignal $z(t)$ wird für jedes gesendete Symbol ein Empfangswertvektor (z) ermittelt, der mindestens zwei Komponenten enthält,
- c) aus dem Empfangswertvektor (z) und den Kanalschätzwertfolgen $\{H_1\}, \{H_2\}$ wird unter Verwenden des Viterbi-Algorithmus unter Berücksichtigung von Metrikinkrementen ($M(z|U_0)$ bis $M(z|U_7)$) für Zustands-Übergänge (U_0 bis U_7) die Symbolwertfolge $\{S_1 + \}$ ermittelt,

wobei zur Berechnung mindestens eines Metrikinkrements ($M(z|U_0)$ bis $M(z|U_7)$) mindestens ein Fehlerwert (e) gebildet wird, der ein Maß für eine Abweichung des Empfangswertvektors (z) von einem Soll-Empfangswertvektor (\hat{y}_n) ist, der mit Hilfe der Kanalschätzwertfolgen $\{H_1\}, \{H_2\}$ für die beiden Teilnehmer (Tln1, Tln2) erzeugt wird,

und wobei beim Berechnen des Fehlerwerts (e) für den ersten Teilnehmer (Tln1) eine Folge derjenigen Symbolwerte (U_0 bis U_7) verwendet wird, die den zum Metrikinkrement ($M(z|U_0)$ bis $M(z|U_7)$) gehörenden Übergang (U_0 bis U_7) eindeutig definiert.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß beim Berechnen des Fehlerwerts (e) ein Übergang (U_0' bis U_7') für den zweiten Teilnehmer (Tln2) verwendet wird, der mit großer Wahrscheinlich-

keit ein Abschnitt einer zum Zeitpunkt des Übergangs durch den zweiten Teilnehmer (Tln2) gesendeten Symbolwertfolge ($\{S_2\}$) ist.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß beim Berechnen weiterer Fehlerwerte (e) für den zweiten Teilnehmer (Tln2) jeweils voneinander verschiedene Übergänge (U_0' bis U_7') verwendet werden.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß als Maß für die Wahrscheinlichkeit Metriken ($M(\bar{z}|U_0')$ bis $M(\bar{z}|U_7')$) verwendet werden, die für den zweiten Teilnehmer (Tln2) in einem zweiten Viterbi-Algorithmus berechnet werden,

und das für den zweiten Teilnehmer (Tln2) die Übergänge (U_0' bis U_7') ausgewählt werden, zu denen die m kleinsten Metriken (200) bezüglich des zweiten Viterbi-Algorithmus gehören,

wobei m eine positive ganze Zahl zwischen eins und einer Potenz der Anzahl der verschiedenen Symbolwerte und der Anzahl von Symbolen in einem Übergang ist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß beim Berechnen des Fehlerwerts (e) Beiträge (y_{p1} bis y_{p4}) zum Fehlerwert (e) für den ersten Teilnehmer (Tln1) und den zweiten Teilnehmer (Tln2) getrennt berechnet werden.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die nach dem CDMA-Verfahren verschlüsselten Symbole in Übereinstimmung mit einem Subsymboltakt (SST) verschlüsselt sind, der eine gegenüber dem Symboltakt (ST) höhere Frequenz hat, das Empfangssignal ($z(t)$) mit der Frequenz des Subsymboltakts (SST) abgetastet wird, wobei der Empfangswertvektor (\bar{z}) entsteht,

und/oder das die Kanalschätzwertfolgen ($\{H_1\}$, $\{H_2\}$) aus dem Empfangswertvektor (\bar{z}) mit Hilfe von im Empfänger bekannten Informationen ermittelt werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem Empfangssignal ($z(t)$) die Übertragungskanäle (\hat{U}_1 , \hat{U}_2) durch Kanalschätzfunktionen ($\{H_1\}$, $\{H_2\}$) abgeschätzt werden,

aus der Kanalschätzfunktion ($\{H_1\}$) für den ersten Teilnehmer (Tln1) und dem ersten Schlüssel (C1) eine erste Filterfunktion (Fi1) bestimmt wird,

aus der Kanalschätzfunktion ($\{H_2\}$) für den zweiten Teilnehmer (Tln2) und einem zweiten Schlüssel (C2) eine zweite Filterfunktion (Fi2) bestimmt wird,

das Empfangssignal ($z(t)$) mit der ersten Filterfunktion (Fi1) und mit der zweiten Filterfunktion (Fi2) gefiltert wird, wobei ein erstes Filtersignal (S1) und ein zweites Filtersignal (S2) entsteht,

und daß die beiden Filtersignale (S1, S2) etwa im Symboltakt (ST) abgetastet werden, wobei die Komponenten (z_1 , z_2) des Empfangswertvektors (\bar{z}) entstehen.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Metrikinkremente ($M(\bar{z}|U_0)$ bis $M(\bar{z}|U_7)$) nach folgender Formel oder einer geeigneten Näherung für diese Formel berechnet werden:

$$M(\bar{z}|U_m) = -\log \sum_{n=0}^{SZ-1} \exp \left(-\frac{|\bar{z} - \bar{y}_n|^2}{2\sigma^2} \right),$$

wobei M das jeweilige Metrikinkrement, \bar{z} den Empfangswertvektor, um den jeweiligen Übergang (U_0 bis U_7), σ die Rauschleistungsdichte, n eine Laufvariable, $|\bar{z} - \bar{y}_n|$ den Fehlerwert (e), SZ die Anzahl verschiedener Symbole in einer Symbolmenge aus der die Symbole für die Übergänge entnommen werden und L die Länge der Übergänge (U_0 bis U_7) bezeichnen.

9. Empfänger zum Ermitteln einer CDMA-codierten Symbolfolge aus einem Empfangssignal ($z(t)$), insbesondere unter Verwenden des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

mit einer Kanalschätzeinheit (400) zum Abschätzen der Übertragungskanäle (\hat{U}_1 , \hat{U}_2) von mindestens zwei Teilnehmern (Tln1, Tln2) des CDMA-Verfahrens,

einer Umwandlungseinheit (130; 402, 406) zum Erzeugen eines Empfangswertvektors (\bar{z}) aus dem Empfangssignal ($z(t)$),

einer Recheneinheit (120 bis 126) zum Bestimmen eines jeweiligen Fehlerwerts (e) aus dem Empfangswertvektor (\bar{z}) und im Empfänger erzeugten Symbolfolgen (U_0 bis U_7 , U_0' bis U_7')

und mit einer Einheit (340, 404) zum Durchführen eines Viterbi-Algorithmus für den ersten Teilnehmer (Tln1) unter Verwendung der Abschätzung ($\{H_1\}$, $\{H_2\}$) der Übertragungskanäle (\hat{U}_1 , \hat{U}_2) und der Fehlerwerte (e), wobei aus mindestens einem Fehlerwert (e) ein Metrikinkrement ($M(\bar{z}|U_0)$ bis $M(\bar{z}|U_7)$) berechnet wird,

und wobei der zum Metrikinkrement ($M(\bar{z}|U_0)$ bis $M(\bar{z}|U_7)$) gehörende Zustands-Übergang (U_0 bis U_7) durch den beim Berechnen des Fehlerwerts (e) verwendeten Übergang (U_0 bis U_7) für den ersten Teilnehmer (Tln1) eindeutig definiert ist.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

FIG 5 *

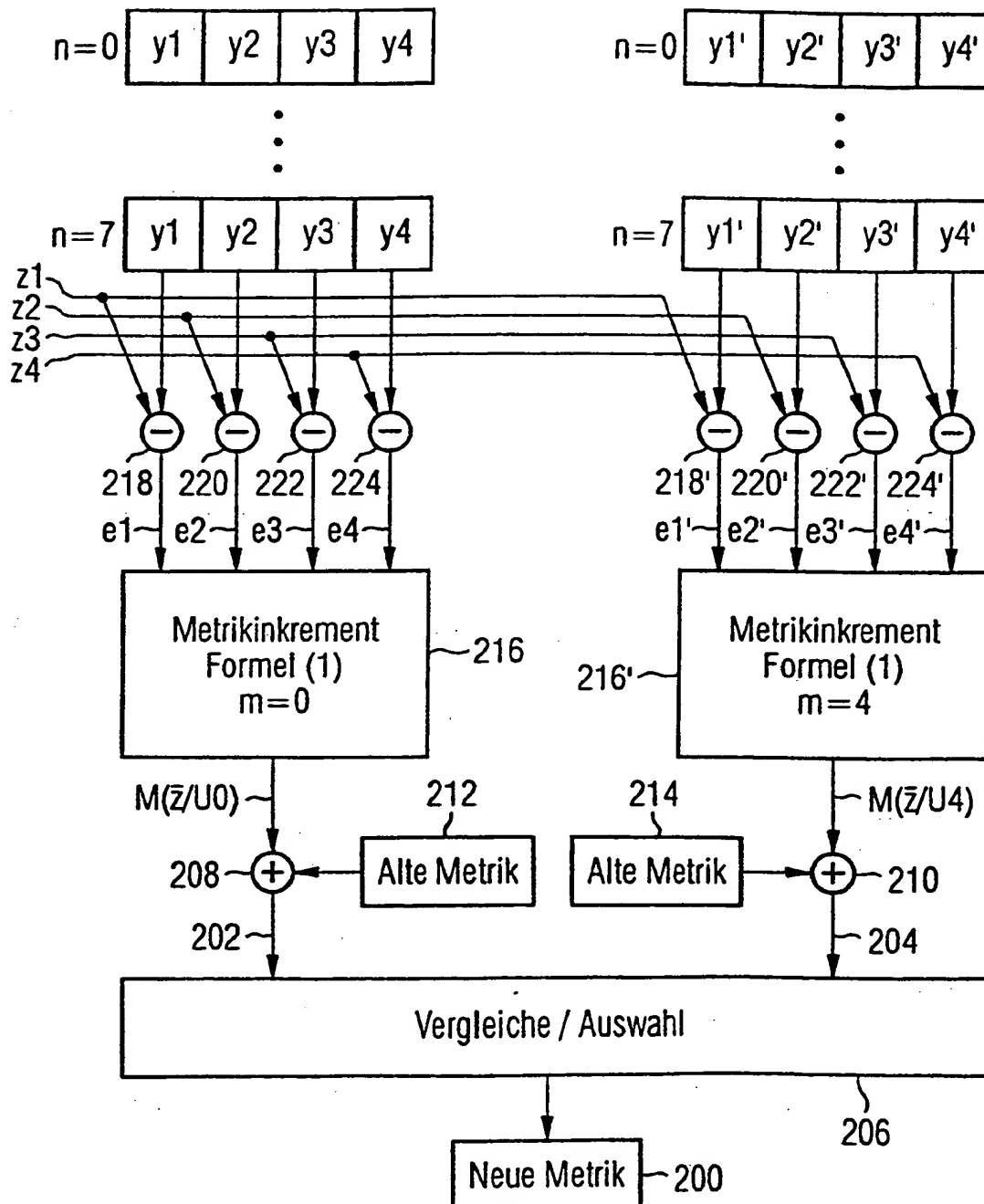


FIG 1

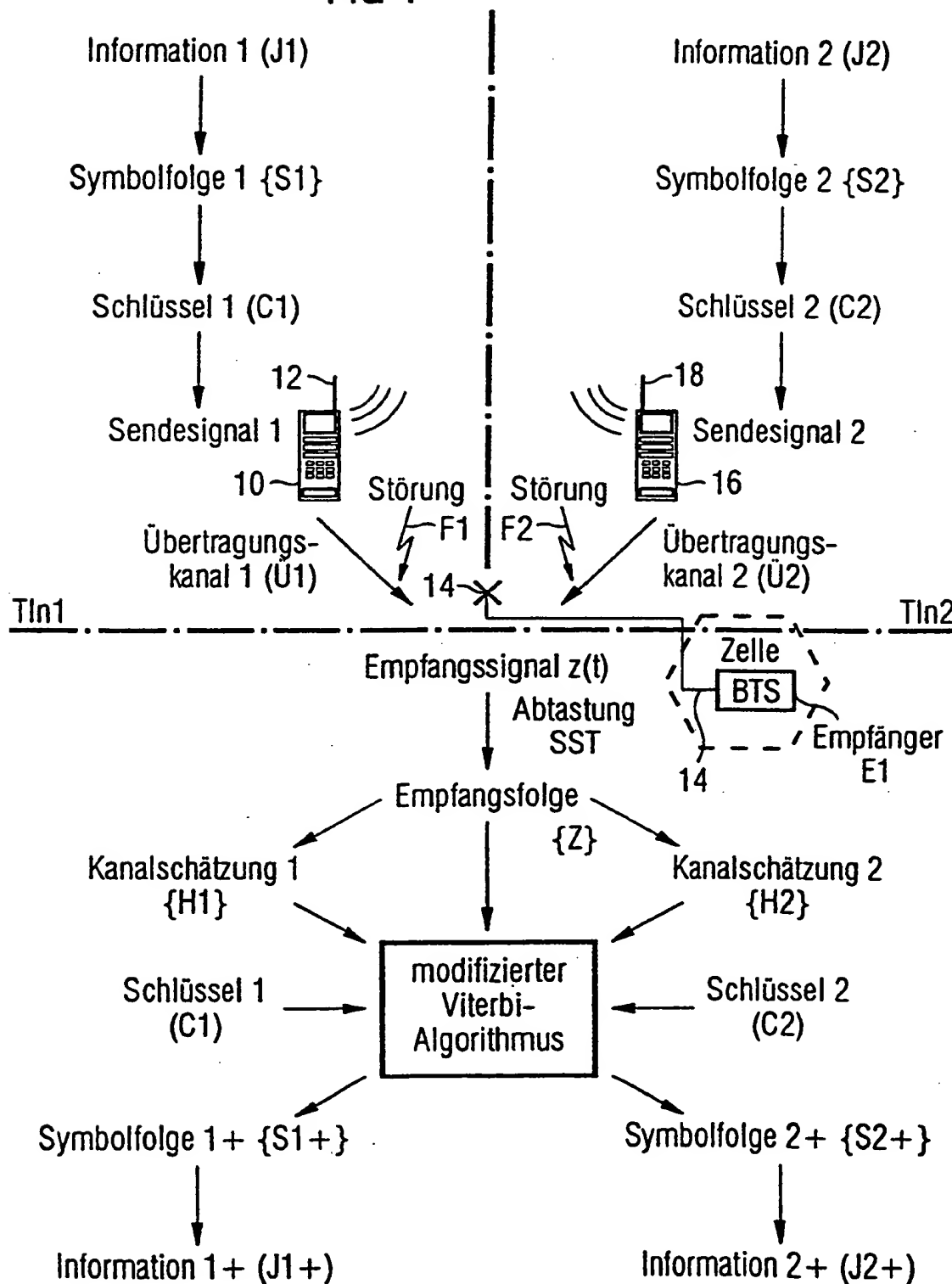
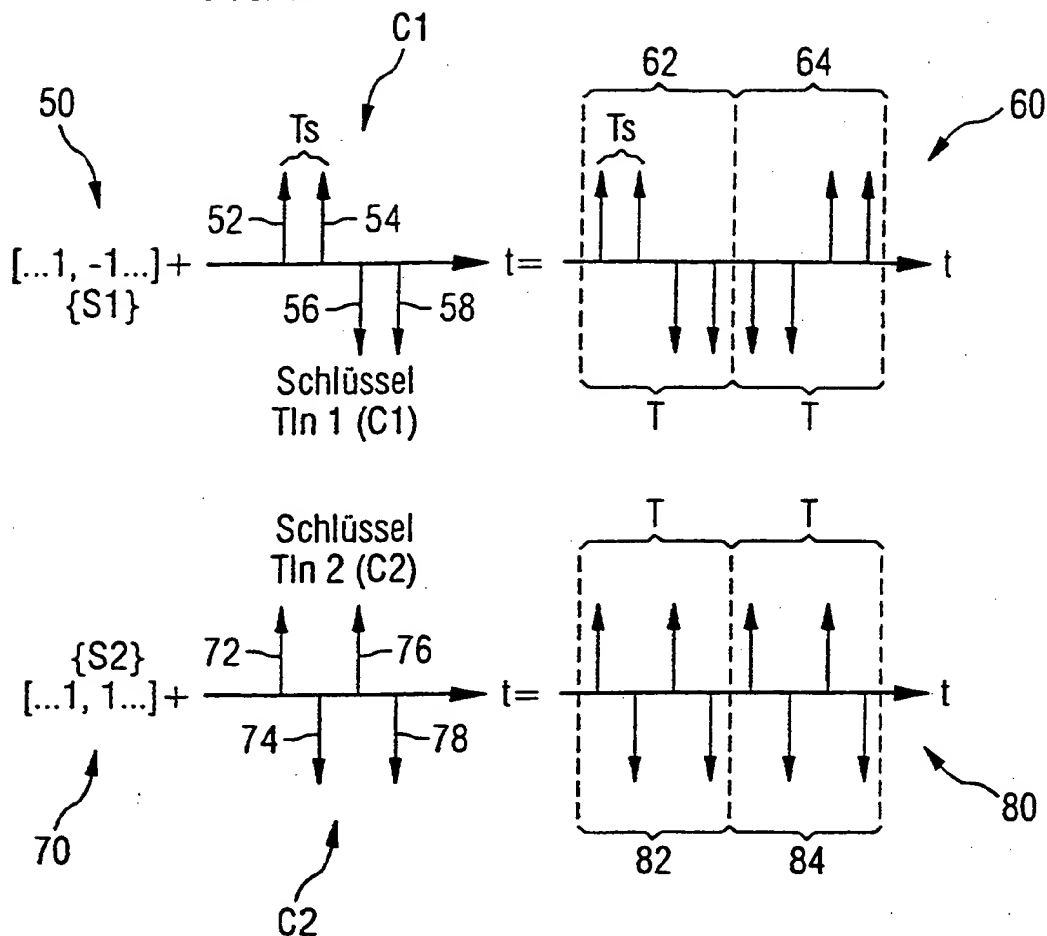


FIG 2



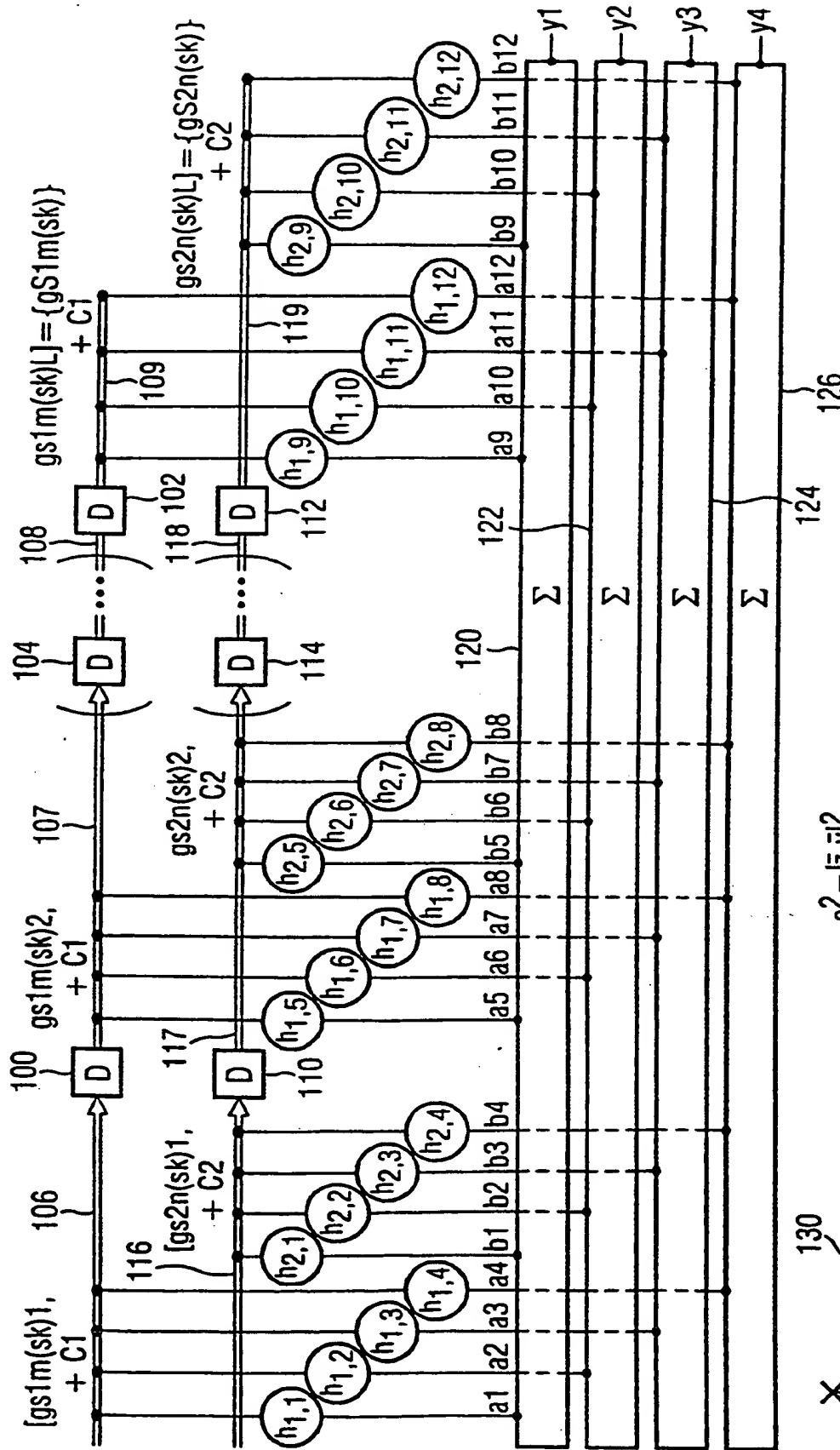


FIG 3

$$e^2 = |\bar{z} - \bar{y}|^2$$

$$e^2 = (z_1 - y_1)^2 + (z_2 - y_2)^2 + (z_3 - y_3)^2 + (z_4 - y_4)^2$$

$$e^2 = e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + e_4^2$$

FIG 4

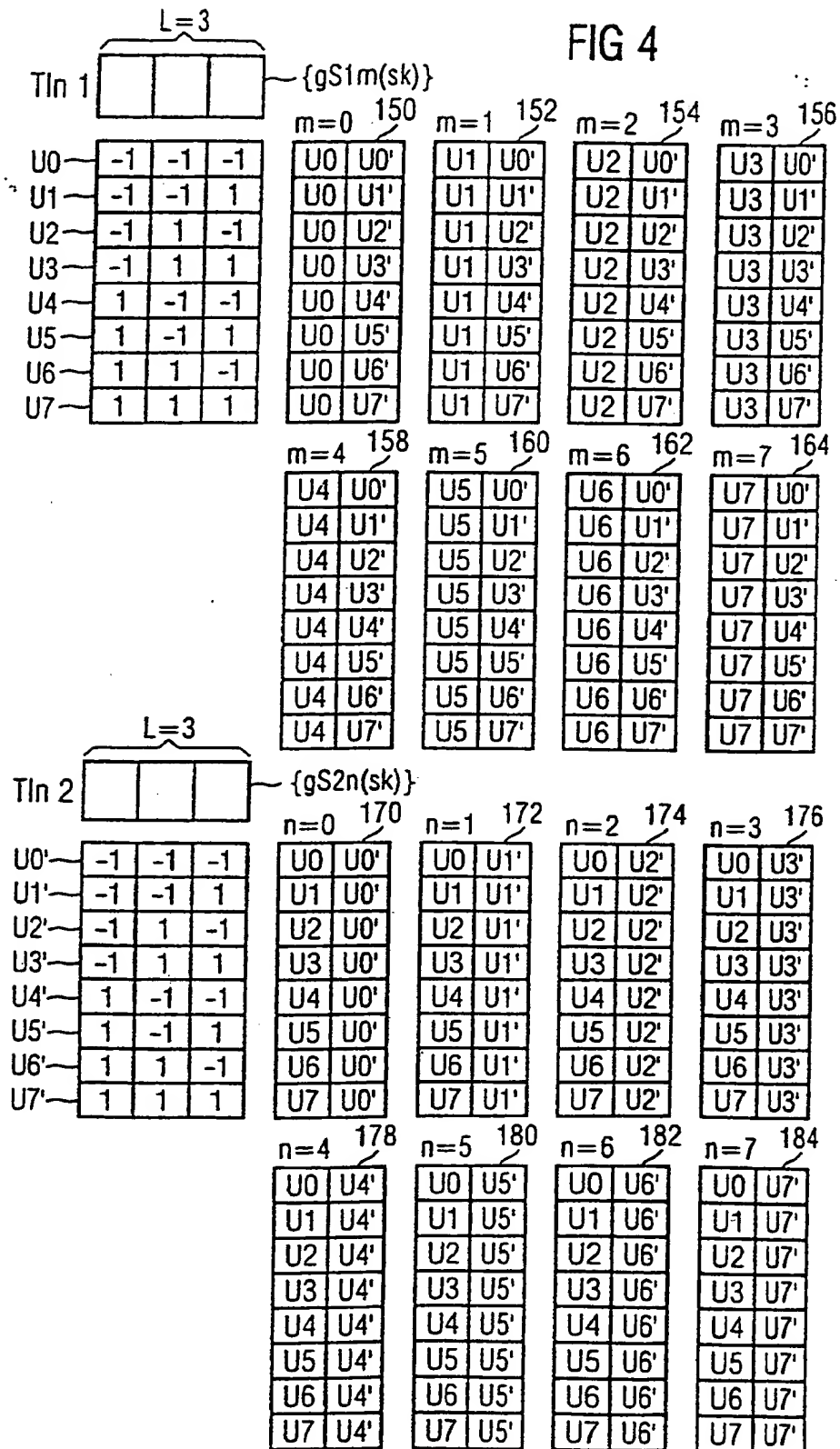


FIG 6

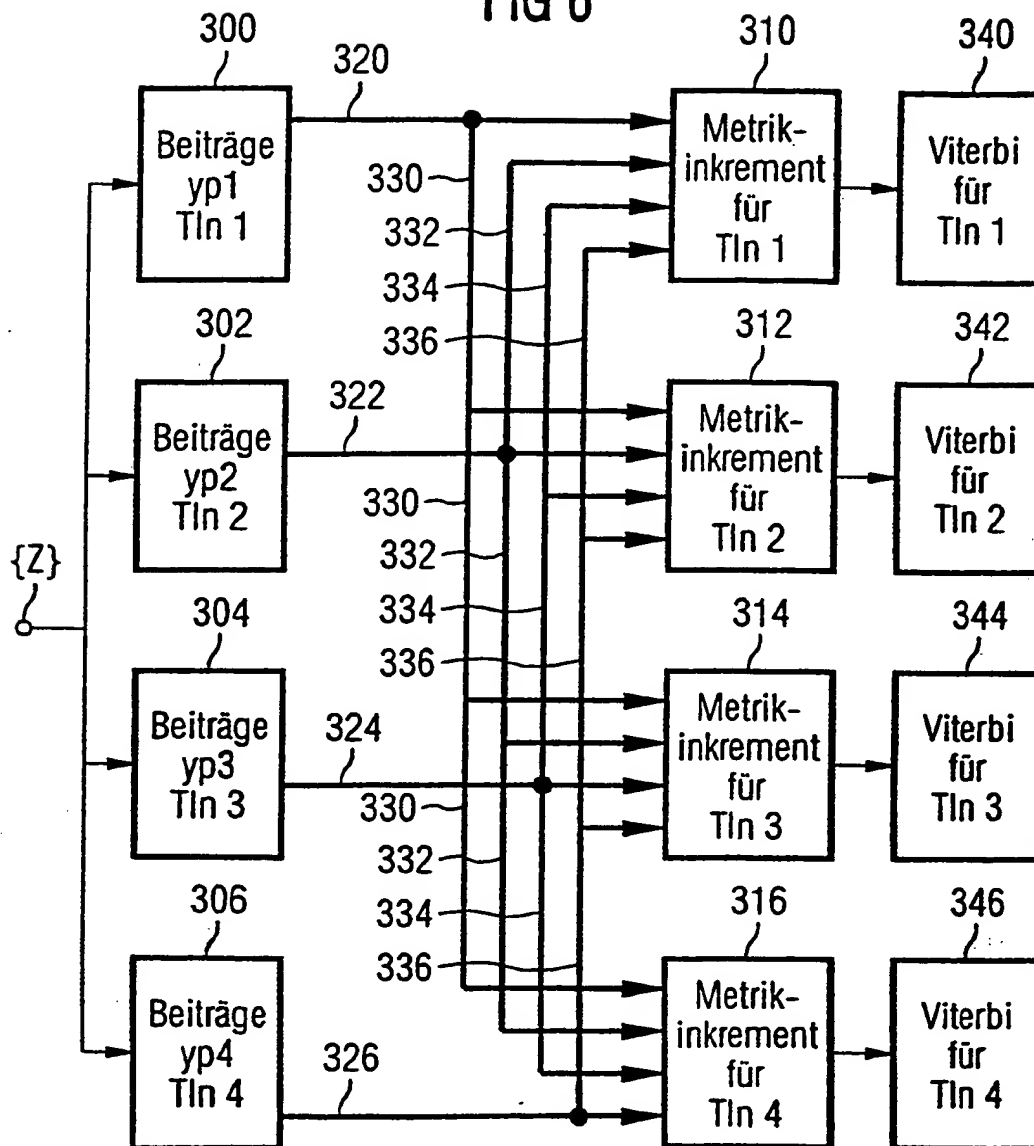
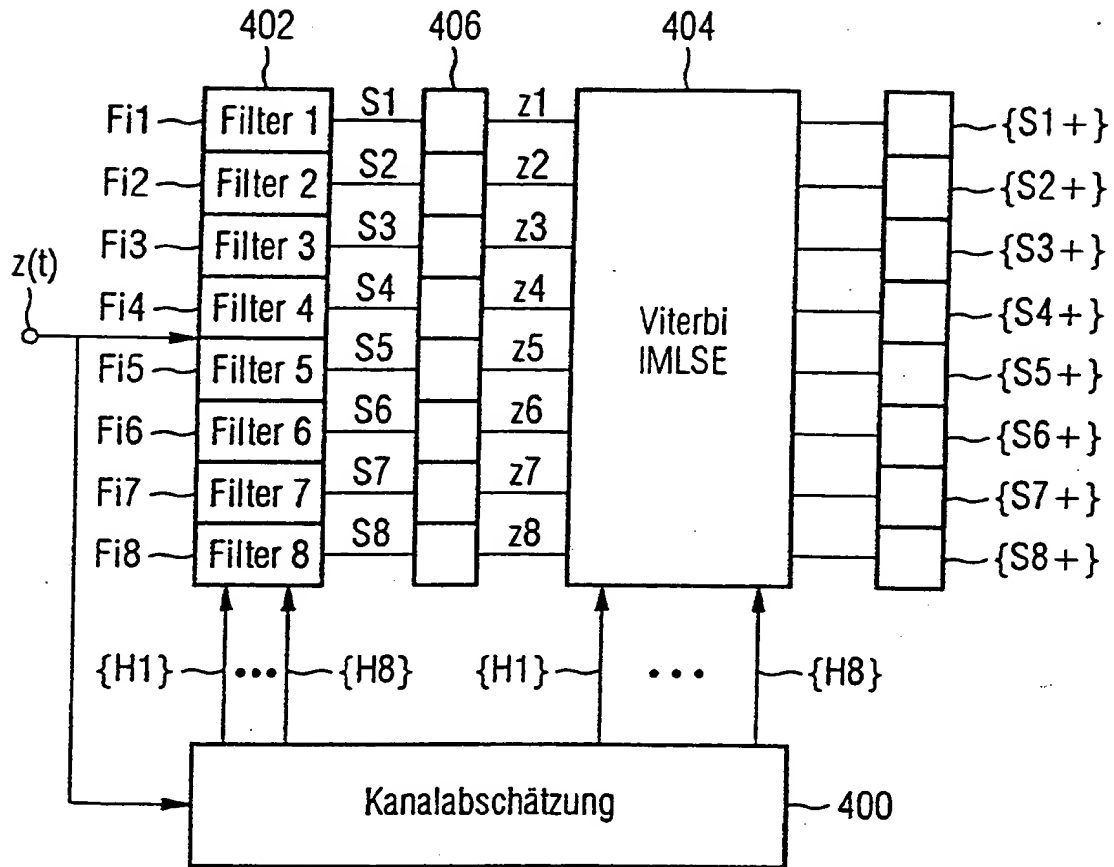


FIG 7



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: _____**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)